

Рис. 2. Уровень сигнала на приемнике при затенении сигнала передатчика случайным прохожим

Метод измерения радиопрозрачности является весьма перспективным и требует дополнительных исследований.

УДК 622.276

Асп. К.В. Шубин, М.Ю. Паначев  
Рук. С.П. Санников  
УГЛТУ, Екатеринбург

## УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ БУРОВЫХ НАСОСОВ

Автоматизированные системы управления (АСУ) отечественных буровых установок (БУ) в настоящее время обеспечивают стабильную работу частотно-управляемых электроприводов главных механизмов БУ. Одним из актуальных направлений развития АСУ БУ является разработка алгоритмов, обеспечивающих максимально эффективное и безопасное протекание технологического процесса.

Для обеспечения промывки при проходке скважины используются буровые насосы. В зависимости от модификации буровой установки (БУ5000/320 ЭК-БМЧ или БУ6500/450 ЭК-БМЧ) система подачи бурового раствора укомплектована двумя или тремя буровыми насосами УНБТ-1180L соответственно.

В результате преобразования вращательного движения входного вала насоса УНБТ-1180L в возвратно-поступательное движение кривошипно-шатунного механизма возникает неравномерность подачи бурового насоса. Графики неравномерности подачи бурового насоса показаны на рис. 1.

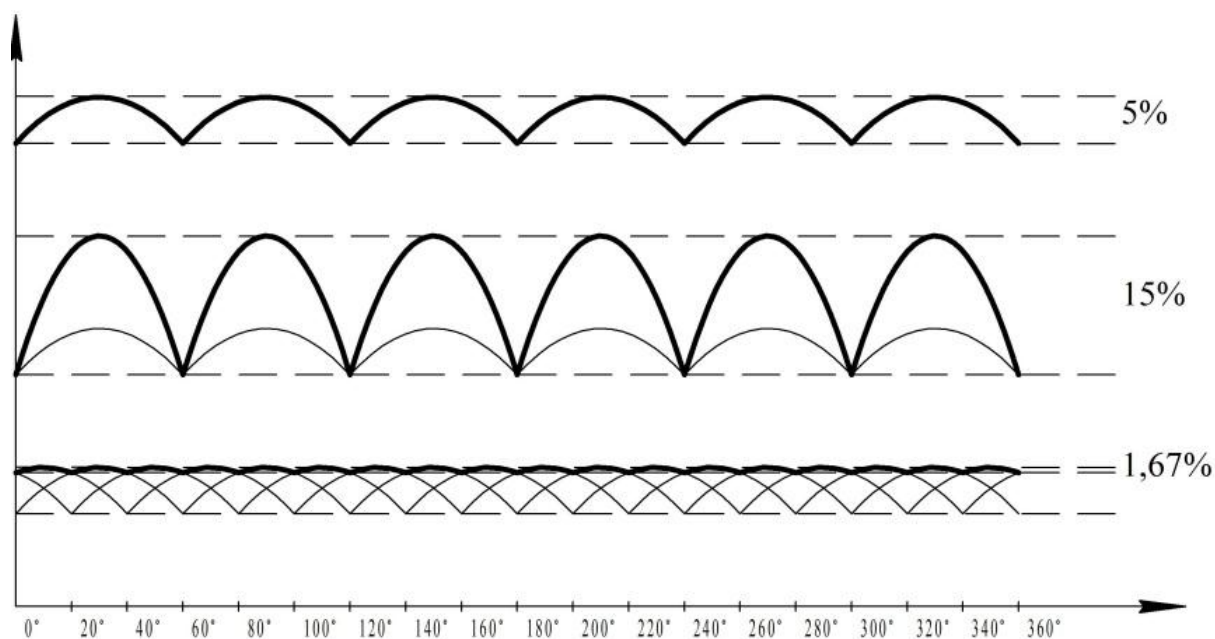


Рис. 1. Графики неравномерности подачи буровых насосов

На рис. 1 представлены неравномерности подачи буровых насосов УНБТ-1180L: верхний график – работа одного насоса; средний график – работа трех насосов с одинаковой скоростью входных валов в одной фазе; нижний график – работа трех насосов с одинаковой скоростью входных валов, разность фаз между первым и вторым, вторым и третьим насосами –  $20^\circ$ .

Смоделируем технологический процесс, где одновременно работают три буровых насоса с одинаковыми диаметрами поршней. АСУ БУ функционирует в режиме синхронного управления, т.е. в преобразователях частоты (ПЧ) электродвигателей заданы одинаковые скорости вращения. При одинаковых скоростях вращения приводов насосов сохраняется постоянная разность фаз вращения входных валов. При работе одного бурового насоса пульсация подачи находится в пределах 5 %, однако при включении двух или трех буровых насосов пульсация может заметно увеличиваться. Так, при работе двух насосов с одинаковой скоростью и нулевой разностью фаз входных валов пульсация удваивается, при работе трех насосов – утраивается. Увеличение пульсации вызывает осложнение в бурении, дополнительные энергетические затраты и усталостные разрушения оборудования.\* Потому важной задачей регулирования электропривода буровых насосов является не только поддержание одинаковой скорости вращения приводов насосов, но и регулировка фаз вращения входных валов. Так, при работе двумя насосами, поддерживая отставание второго насоса от первого на  $30^\circ$ , обеспечивают снижение пульсации за счет сло-

\* Буровые комплексы / под общ. ред. К.П. Порожского. Екатеринбург: Изд-во УГТУ, 2013. 768 с.:ил.

жения графиков подачи каждого из насосов. Соответственно при работе тремя насосами, поддерживая отставание второго насоса от первого и третьего от второго на  $20^\circ$ , обеспечивают наименьшую пульсацию.

Оценить разницу фаз входных валов буровых насосов можно несколькими способами:

1) по измерениям энкодеров электродвигателей насосов, являющихся составной частью системы управления ПЧ и установленных на каждом буровом насосе УНБТ-1180L;

2) по измерениям датчика давления манифольда;

3) по сигналам с бесконтактных датчиков, устанавливаемых около шкива ременной передачи (рис. 2).

4)

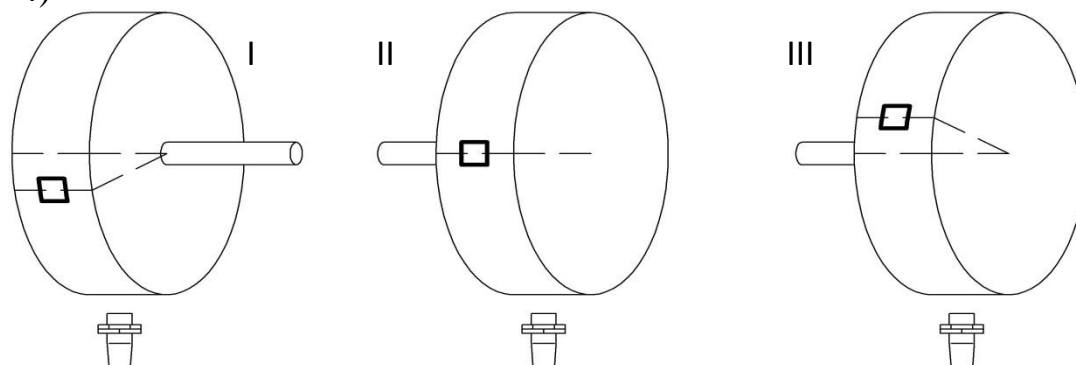


Рис. 2. Измерение разности фаз входных валов насосов с помощью бесконтактных датчиков

Каждый из способов имеет свои преимущества и недостатки. К примеру, для того чтобы оценить разность фаз по энкодерам, нет необходимости устанавливать дополнительно оборудование, однако каждый раз после перезапуска системы управления нужно отбивать «нулевые» точки каждого из валов. Кроме того, данный способ не учитывает погрешность измерения, связанную с возможным проскальзыванием ременной передачи. Измерять пульсацию подачи насосов возможно косвенным образом по датчику давления манифольда, анализируя пульсацию давления. Однако данный способ требует высокой точности измерения, является аналитически достаточно сложным и громоздким. Способ оценки разности фаз по сигналам с бесконтактных датчиков предполагает установку дополнительных элементов, но представляет собой наиболее простое и наглядное решение.

На рис. 2 представлен принцип измерения разности фаз. На шкивы каждого насоса устанавливается металлическая пластинка. Пластинка должна быть установлена в одном и том же месте, условном «нуле», например в точке  $0^\circ$  (см. рис. 1).

Условимся, что регулирование одного или двух приводов происходит в их ускорении/торможении относительно первого, назовем его «ведущий»

привод, один или два других – «ведомыми». Итак, при работе первого насоса он по умолчанию ведущий, при работе только второго и третьего насоса ведущим назначается второй.

Оценим возможность управления величиной запаздывания входных валов при синхронной работе насосов, некоторые технические характеристики УНБТ-1180L представлены ниже.

Номинальная частота входного вала, об/мин .....	556
Номинальная частота электродвигателя, об/мин .....	1000
Диаметр шкива клиноременной передачи, мм .....	560
Диаметр шкива клиноременной передачи, мм .....	1000

В ПЧ электродвигателя бурового насоса скорость задается в виде десятичного числа в пределах  $[0; 10000]$ , что соответствует скорости вращения вала двигателя  $[0; 1000]$  об/мин, таким образом, скорость регулируется с точностью до 0,1 об/мин.

При расхождении скоростей валов двигателей насосов на 0,1 об/мин в течение одной секунды отстающий привод запаздывает за мастером на угол  $\Delta\varphi_{\partial\phi}^{\circ}$ :

$$\Delta\varphi_{\partial\phi} = \Delta\omega_{\partial\phi} \cdot t \cdot 360^{\circ} = \frac{0,1}{60} \cdot 360 = 0,6^{\circ}.$$

Учитывая передаточное отношение клиноременной передачи, рассчитаем, на какой угол  $\Delta\varphi_{\phi\phi}^{\circ}$  отстанет входной вал ведомого насоса от входного вала ведущего:

$$\Delta\varphi_{\phi\phi} = \Delta\varphi_{\partial\phi} \frac{560}{1000} = 0,6 \cdot 0,56 = 0,336^{\circ}.$$

Данный анализ точности регулирования говорит о возможности создания регулятора величины отставания/опережения ведомых двигателей относительно ведущего. На рис. 3 представлена структурная схема регулятора.

Таким образом, в регулятор скорости привода насоса, преобразующий входные сигналы с пульта управления (ПУ) в сигнал задания скорости в ПЧ, заводится выход регулятора величины отставания/опережения ведомых двигателей.

Регулятор отставания/опережения имеет обратную связь по бесконтактным датчикам, измеряющим взаимный угол входных валов насосов. В установившемся режиме, когда угол между входными валами достиг заданного значения, регулятор скорости привода насоса работает без корректировки. Скорости насосов одинаковы, и пульсация имеет наименьшее значение.

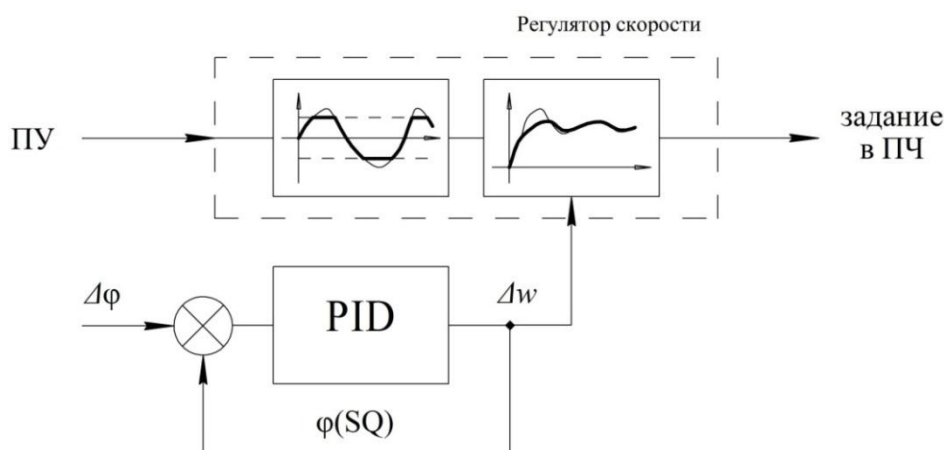


Рис. 3. Структурная схема регулятора

Нефтегазовая промышленность знает единичные примеры производства четырех- и пятипоршневых насосов, однако многопоршневые насосы еще не получили широкого применения. Реализуя алгоритм управления взаимным сдвигом входных валов при синхронном управлении насосов, возможно получить выходную характеристику подачи насосов, эквивалентную многопоршневому насосу.

## Моделирование, разработка и эксплуатация технических систем в лесном комплексе

УДК 539.621

Студ. Э.И. Габайдуллина  
Рук. С.Н. Исаков  
УГЛТУ, Екатеринбург

### ИЗУЧЕНИЕ ГРАНИЧНОГО ТРЕНИЯ

Первая формула, описывающая силу трения, была выведена гениальным человеком Леонардо да Винчи в 1519 г. Всем известное определение силы трения окончательно сформировалось в 1781 г. учеными Г. Амонтоном и Ш.О. Кулоном и формула приняла известный нам вид и используется до сих пор.

$$F_{\tau} = f_{\tau} N, \quad (1)$$

где  $F_{\tau}$  – сила трения, Н;  $N$  – сила реакции опоры, Н;  $f_{\tau}$  – коэффициент трения.